

Al-Ti база қорытпаларының құрылымдық фазалық күйіне микроқоспалардың әсерін зерттеу

^{1*}ДОСТАЕВА Ардак Мухамедиевна, PhD, аға оқытушы, ardak_erkekyz@mail.ru,

¹ИСАҒҰЛОВ Аристотель Зейнуллинович, т.ғ.д., профессор, атқарушы директор, aristotel@kstu.kz,

¹ИБАТОВ Марат Кенесович, т.ғ.д., профессор, ректор, m.ibatov@bk.ru,

¹ТОЛЕУОВА Айнагуль Рымкуловна, PhD, доцентінің м.а., rymkul.ainagul@mail.ru,

¹НАБОКО Елена Петровна, т.ғ.к., доцент, lena_per@mail.ru,

¹Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды, Н. Назарбаев даңғылы, 56,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақсаты – Al-Ti база қорытпаларының құрылымдық фазалық күйіне микроқоспалардың әсерін зерттеу. Зерттеу әдістері – күй диаграммаларын модельдеу, балқыту және тәжірибелік үлгілерді зерттеу. Микроқоспалардың құрылымдық күйге және фазалық құрамға әсері қарастырылады. Алюминий мен титан негізіндегі қорытпалардың диаграммалары келтірілген. Рентгендік құрылымдық талдау ниобий және молибден сияқты элементтердің микроэлементтерінің қосылуы титан мен алюминий негізіндегі қорытпалардың құрылымдық күйін өзгертетінін көрсетеді. Элементтердің әсері дифракциялық спектрлерден көрінеді. Элементтердің таралу картасы сонымен қатар, төмен тығыздықтың микроқоспалардың ыстыққа төзімділік қасиеттеріне әсерін зерттейді. Фазалық диаграммаларды зерттеу эксперименттік зерттеулердің құнын едәуір төмендетеді деп саналады. Титан алюминидтерін пайдалану бұйымның салмағын 40%-ға, шығындар мен еңбек шығындарын 30%-ға төмендетеді, сонымен қатар, бөлшектер мен конструкциялық бөлшектердің сенімділігін едәуір арттырады.

Кілт сөздер: фазалық күй, қорытпа, микроқоспалар, ыстыққа беріктік, алюминий.

Кіріспе

Қазіргі заманғы авиация саласының дамуы үнемді және экологиялық таза газотурбиналық қозғалтқыштарды құрумен байланысты, отын шығыны азаяды, пайдалану мерзімі мен сенімділігі артады. Бұл мәселені шешуде жоғары өнімділік сипаттамалары бар заманауи жеңіл ыстыққа төзімді материалдарды пайдалану шешуші рөл атқарады. Пышақтарды, дискілерді, бағыттаушы қалақтарды, компрессорлық және турбиналық корпусының элементтерін жасауға арналған жоғары температуралы қорытпаларға ерекше талаптар қойылады, өйткені бұл бөлшектер жоғары жылу және қуат жүктемелеріне ұшырайды.

Қазіргі уақытта ыстыққа төзімді титан қорытпалары АҚШ, Ұлыбритания, жұмыс температурасы 550-600°C дейінгі қаттылық бөлшектерін жасау үшін отандық өнеркәсіпте және шетелде кеңінен қолданылады. Бұл ерітінділерді қатты ерітіндіге негізделген және жоғары температурада металл матрицасының дисперсиялық қатаюы ыстыққа төзімді қасиеттердің төмендеуімен және тотығудың жоғарылауымен шектеледі. Бүгінде олар әуе кемелері дизайнерлерінің заманауи температуралық талаптарына толық жауап бере алмайды.

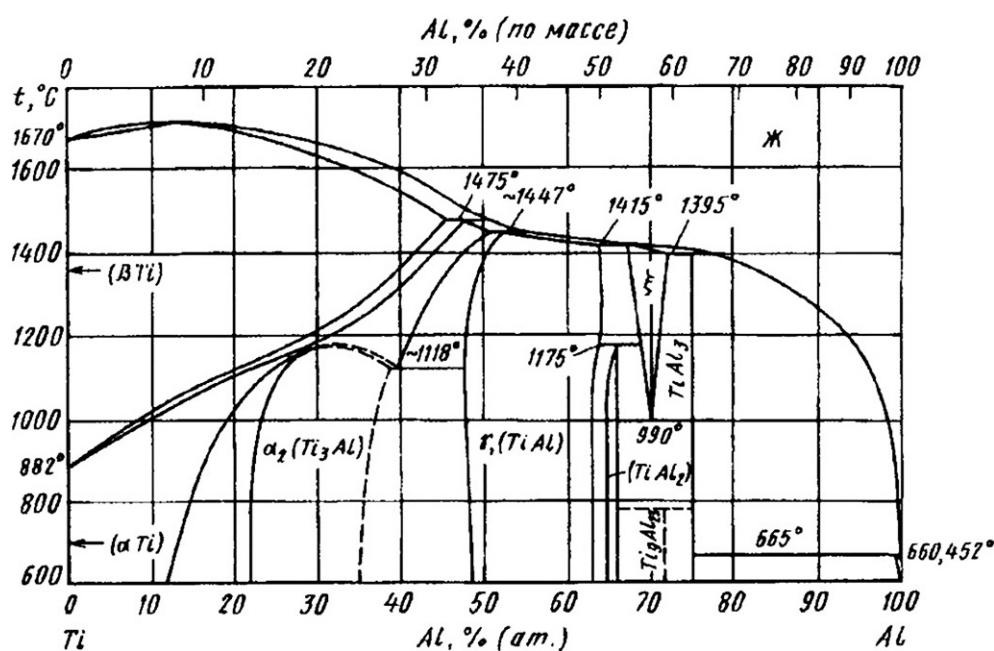
Жұмыс температурасы 600°C жоғары ыстыққа төзімді перспективалы материалдар титан алюминидтері негізінде жасалған қорытпалар бо-

лып табылады. Ti-Al және Ti-Al-Nb жүйелерінің металлургиялық титан қорытпаларының ішінен ең жақсы өңделгіштік пен икемділік, жоғары беріктік сипаттамалары, ыстыққа төзімділік және ыстыққа төзімділік тұрғысынан өңделген қорытпалар үлкен қызығушылық тудырады, олардың негізі Ti₂AlNb орторомбалық фазасы (сонымен қатар, орто-қорытпалар деп аталады).

Соңғы кезге дейін псевдо- α - және ($\alpha + \beta$) титан қорытпалары газ турбиналы қозғалтқыштардың маңызды бөліктерін жасау үшін қолданылатын ыстыққа төзімді материалдар ретінде қолданылып келді. Жұмыс температурасы 550-600°C дейін және тығыздығы 4,5-4,6 г/см³.

Бірақ бұл қорытпаларды 600°C-тан жоғары температурада қолдану ыстыққа төзімді қасиеттерінің күрт төмендеуімен және құрылымның деградациясы салдарынан тотығудың жоғарылауымен шектеледі [1]. Сондықтан, 80-ші жылдардан бастап, өткен ғасырда әлемнің көптеген елдерінен келген ғалымдар материалдарының үлкен тобының назары титан қорытпаларын қолдану аясын кеңейтетін Ti-Al жүйесінің металдар аралық қосылыстары негізінде жылуға төзімді материалдардың-қорытпалардың жаңа класын зерттеуге бағытталған (1-сурет).

Жетекші шетелдік компаниялар титан алюминидтері және оларды перспективалы аэроға-



1-сурет – Ti-Al екілік жүйесінің күй диаграммасы [4]

рыштық өнімдерге енгізу саласында қарқынды зерттеулер жүргізуде. Титан алюминидтерін қолдану өнімнің салмағын 40%-ға дейін, өзіндік құны мен еңбек сыйымдылығын – 30% төмендетуге, сондай-ақ, бөлшектер мен құрылымдық қондырғылардың сенімділігін едәуір арттыруға мүмкіндік береді деп хабарлайды [2-4]. Металдық титан қорытпаларының болашағы олардың физикалық және пайдалану қасиеттерінің ерекше үйлесімділігіне байланысты, бұл дәстүрлі ыстыққа төзімді қорытпаларда қатты ерітіндімен және / немесе дисперсиялық беріктендіру мүмкін емес [5-7].

Титан алюминидтері мен олардың негізіндегі қорытпалар жоғары температурада жоғары беріктігін сақтайды, олардың икемділік модулі металл аралық емес негіздегі титан қорытпаларына қарағанда температураның жоғарылауымен тез азаяды. Алюминидтердегі өзіндік диффузия коэффициенті салыстырмалы температурада титанның α - және β -модификациялары негізінде тәртіпсіз қатты ерітінділері бар қорытпалардан гөрі шамадан бірнеше реттік төмен болады, бұл серпіліске төзімділіктің жоғарылауын қамтамасыз етеді (2-сурет).

Тәжірибелік бөлім және зерттеу нәтижелер

Титан алюминидтері салыстырмалы түрде төмен тығыздыққа ие (құрамында Al мөлшері көп), дәстүрлі титанға және «ауыр» (тығыздығы 8,55 г/см³) никель қорытпаларына қарағанда меншікті беріктігі бойынша айтарлықтай артықшылықтарға ие. Сонымен қатар, титан алюминидтері тотығуға төзімділігі жоғарылайды, олардың бетінде Al₂O₃, TiO₂ және AlNbO₄ тұратын оксидтің тығыз қабаты пайда болады, бұл оттегі диффузиясын болдырмайды [2,7].

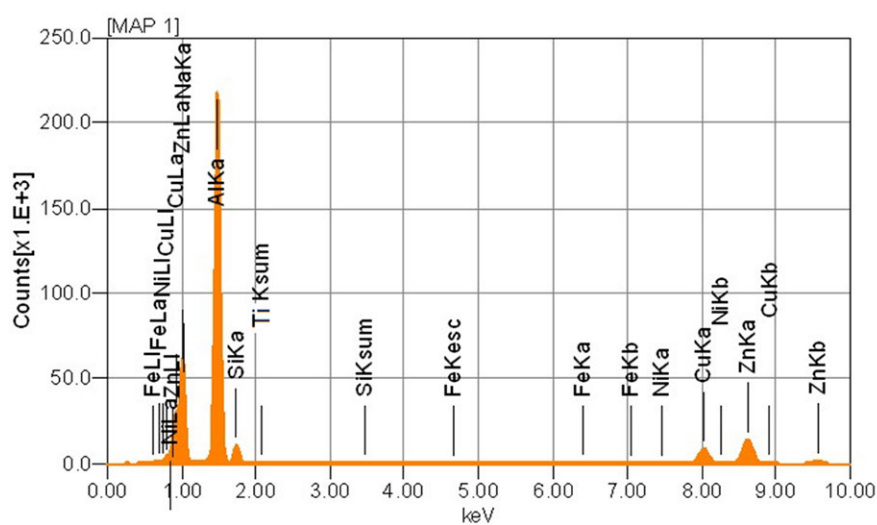
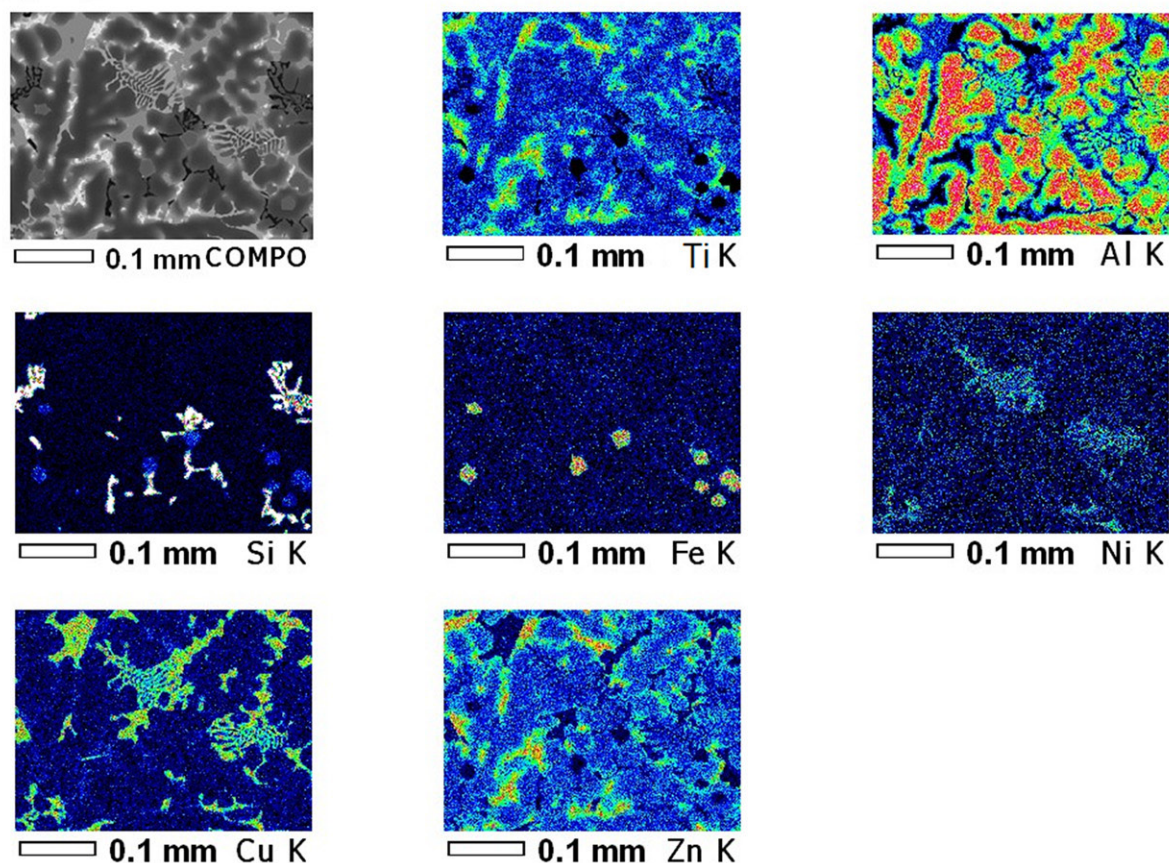
Түсіру D8 Advance (Bruker), α -Cu, кернеуі 40 кВ, ток күші 40 мА-да түсірілді. Алынған дифракциялық заңдылықтарды өңдеу және жоспар аралық қашықтықты есептеу EVA бағдарламалық қамтамасыздандыру көмегімен жүзеге асырылды. Үлгілерді декодтау және фазалық іздеу PDF-2 ұнтақ дифрактометриялық мәліметтер базасын қолданып, іздеу/сәйкестік бағдарламасын қолдану арқылы жүргізілді (1 кесте).

Алынған құймалардың фазалық құрамы рентгендік құрылымдық талдау әдісімен анықталды, оның нәтижелері бойынша құю күйінде барлық композициялар β - және O-фазаларымен және α_2 -фазаның іздік мөлшерімен ұсынылатындығы анықталды (3-сурет). K1 (Y-мен), K2 (Gd-мен) және K3-тен (Sc-пен) композицияларда сирек кездесетін жер элементтерінің оксидтері Y₂O₃, Gd₂O₃ және Sc₂O₃ табылды.

Орто-қорытпаның зерттелген композицияларының фазалық аймақтарының тіршілік ету диапазондарын талдау үшін Ti-Al-Nb тепе-теңдік күй диаграммасының Ti-23Al-Nb (атомдық %) политермиялық бөлімі таңдалды, ол 4-суретте көрсетілген.

Құйылған күйдегі әртүрлі элементтердің микроэлементтері бар орто-қорытпа композицияларының микроқұрылымы матрицада да, дән шекараларында да α_2 -, α_2 /O- және O фазаларының дисперсті тұнбалары бар бастапқы β -фазаның дәндерімен, сондай-ақ, элементтердің оксидтерімен Y₂O₃, Gd₃ ұсынылған. , Sc₂O₃, оның болуы шағылысқан электрондарда сканерлейтін электронды микроскоппен сканерлеу кезінде анықталды (4-сурет). K1 (Y-мен), K2 (Gd-мен), K3 және «негіздік» қорытпасы K4 композицияларының микроқұрылымының суреттерін салысты-

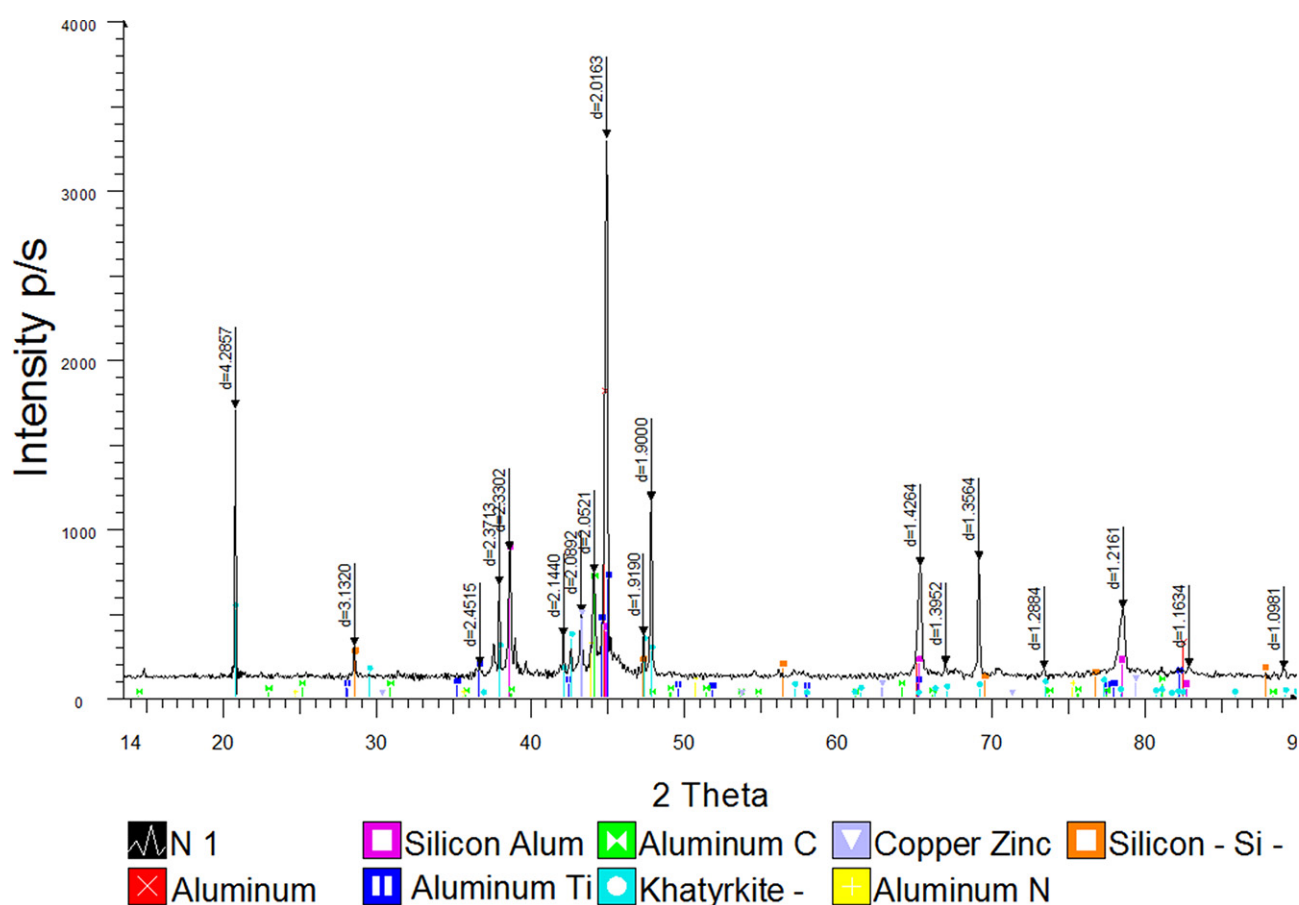
MAP 1



Acquisition Condition
Instrument : 8230
Volt : 25.00 kV
Current : 10.10 nA
Process Time : T3
Live time : 491.51 sec.
Real Time : 578.46 sec.
DeadTime : 15.00 %
Count Rate : 8422.00 CPS

Elements	ms%	mol%	Sigma	Net	K ratio	Line
Ti	6.35	9.21	0.40	261675	0.0000000	K
Al	55.07	68.00	0.26	3984408	0.0000000	K
Si	4.32	5.12	0.42	214310	0.0000000	K
Fe*	0.33	0.20	0.51	18151	0.0000000	K
Ni*	0.36	0.20	0.70	15337	0.0000000	K
Cu	11.25	5.90	0.98	382599	0.0000000	K
Zn	22.32	11.38	1.21	650474	0.0000000	K
Total	100.00	100.00				

Дифракциялық спектр мәліметтері		
Фаза атауы	Формуласы	Мөлшері
Aluminum	Al	32.1
Aluminum Titanium	Al _{0.64} Ti _{0.36}	22.1
Silicon Aluminum	Al ₉ Si	15.5
Silicon Chromium Iron	CrFe ₈ Si	12.5
Aluminum Copper	Cu ₉ Al ₄	12.4
Aluminum Nickel	AlNi ₃	5.3



3-сурет – Зерттелетін композицияның дифракциялық спектрі

ру (REE-ді енгізу құйманың орталық бөлігінде бастапқы β -фазаның түйіршікті мөлшерінің 5 есе төмендеуіне әкелетінін 2000 ± 50 мкм-ден 400 ± 30 мкм-ге дейін анық көрсетеді.

TiAl-E жүйесінің басқа легірлеуші элементтері бар күй диаграммалары дәл осы техниканың көмегімен талданды. Үш диаграмма ең үлкен қызығушылық тудыратыны анықталды: TiAl-Mn, TiAl-Nb, TiAl-Mo, TiAl-Ni, TiAl-Si, TiAl-Y. Осы сызбаларды қарау кезінде қажетті фазалары бар аймақтар – γ -TiAl, α_2 -Ti₃Al және γ -TiAl + α_2 -Ti₃Al (қою сызықтармен белгіленген) – және осы ай-

мақтағы әр элементтің пайызы анықталды.

Фазалық диаграмма бөлімдерін әр түрлі температурада талдағанда әр түрлі легірлеуші элементтер үшін қажетті фазалардың аймағы температураның төмендеуіне байланысты өсуі немесе төмендеуі мүмкін екендігі анықталды. 1100 және 800°C температурадағы Ti-Al-Nb диаграммаларының мысалында (5-6 сурет), TiAl фазасының аймағы артады. 1100°C температурада Ti₃Al және TiAl + Ti₃Al фазалары түзіле бастайды және температураның одан әрі төмендеуімен аймақтар тұрақты болып қалады.



100

1001



6

Қорытынды

Зерттеу нәтижелері бойынша авиациялық қа-
лақшалар үшін перспективалық материалдар Ti-
Al жүйесіне негізделген металлралық қосылы-
стар екендігі анықталды.

Қорытпаларды дамытудың заманауи әдістері үлкен уақыт пен экономикалық ресурстарды қажет етеді. Сондықтан бұл жұмыста біз физико-химиялық талдау әдісін қолдандық.

Қорытпаларды синтездеудің бұл әдісі жаңа

көп компонентті металлалық қорытпаларды құруға кететін уақытты орташа есеппен 4-5 есеге дейін қысқартуға, еңбек шығындарын 20-30 есе азайтуға және эмпирикалық әдістермен салыстырғанда сирек қымбат материалдардан 10-20 есе үнемдеуге мүмкіндік береді.

Ti-Al-E жүйелерінің күй диаграммаларын талдау негізінде негізгі легірілеуші элементтер және олардың металлургиялық қорытпалар үшін

өзгеру шектері таңдалады.

Температуралық кесінділер бойынша үштік диаграммаларды талдағаннан кейін, фазалық аймақтар тарылатын және кеңейетін легірілеуші элементтерді анықтадық. Осыған сүйене отырып, болашағы бар легірілеуші элементтер анықталды: Ni, Nb, Mn, V.

Жұмыс жас ғалымдарға арналған гранттық қаржыландыру тақырыбы аясында орындалған.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Kunal Kothari, Ramachandran Radhakrishnan, Norman M. Wereley. Advances in Gamma Titanium Aluminides and Their Manufacturing Techniques // Progress in Aerospace Sciences. 2012. Vol. 55. P. 1-16.
2. Павлова Т.В. Кашапов О.С., Ночовная Н.А. Титановые сплавы для газотурбинных двигателей // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 2. С. 8-14.
3. Состояние, проблемы и перспективы создания жаропрочных титановых сплавов для деталей ГТД / О.С. Кашапов [и др.] // Труды ВИАМ. 2013. №3. Ст. 02.
4. Smagulov, D.U., Belov, N.A., Dostayeva, A.M. Roasting effect on the electrical resistivity of the Al-0,5% Zr alloys, Bulletin of the university of Karaganda-Physics, 80 (2015), 4, 19-23.
5. Куликов В.Ю., Аубакиров Д.Р., Квон С.С., Достоева А.М., Щербакова Е.П. Применение износостойких материалов в металлургической отрасли Республики Казахстан // Металлург. 2018. № 10. С. 80-83.
6. Исагулов А.З., Квон Св.С., Куликов В.Ю. Повышение износостойкости элементов горно-обогатительного оборудования // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 6. С. 609-613.
7. Vodolazskaya N.V. Wear resistance of cast iron parts due to modification of surface layer / N.V. Vodolazskaya, O.A. Sharaya // Journal of Advanced Research in Technical Science. – Seattle, USA: SRC MS, AmazonKDP. – 2020. – Issue 18. – P. 33-36.

Исследование влияния микродобавок на структурное фазовое состояние сплавов базы Al-Ti

^{1*}**ДОСТАЕВА Ардак Мухамедиевна**, PhD, старший преподаватель, ardak_erkekyz@mail.ru,

¹**ИСАГУЛОВ Аристотель Зейнуллинович**, д.т.н., профессор, исполнительный директор, aristotel@kstu.kz,

¹**ИБАТОВ Марат Кенесович**, д.т.н., профессор, ректор, m.ibatov@bk.ru,

¹**ТОЛЕУОВА Айнагуль Рымкуловна**, PhD, и.о. доцента, rymkul.ainagul@mail.ru,

¹**НАБОКО Елена Петровна**, к.т.н., доцент, lana_nep@mail.ru,

¹Карагандинский технический университет, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Цель – исследование влияния микродобавок на структурное фазовое состояние сплавов базы Al-Ti. Методы исследования – моделирование диаграмм состояния, выплавка и изучение экспериментальных образцов. Рассматривается влияние микродобавок на структурное состояние и фазовый состав. Приведены диаграммы сплавов на основе алюминия и титана. Рентгеноструктурный анализ показывает, что добавление микроэлементов таких элементов, как ниобий и молибден, изменяет структурное состояние сплавов на основе титана и алюминия. Влияние элементов видно по дифракционным спектрам. Карта распределения элементов также исследует влияние низкой плотности на свойства термостойкости микродобавок. Считается, что изучение фазовых диаграмм позволяет значительно снизить стоимость экспериментальных исследований. Использование алюминидов титана позволит снизить вес изделия до 40%, затраты и трудозатраты на 30%, а также значительно повысит надежность деталей и конструктивных узлов.

Ключевые слова: фазовое состояние, сплав, микродобавки, жаропрочность, алюминий.

Studying the Effect of Microadditives on the Structural Phase State of Al-Ti Based Alloys

^{1*}**DOSTAEVA Ardak**, PhD, Senior Lecturer, ardak_erkekyz@mail.ru,

¹**ISSAGULOV Aristotle**, Dr. Tech. Sci., Professor, Executive Director, aristotel@kstu.kz,

¹**IBATOV Marat**, Dr. Tech. Sci., Professor, Rector, m.ibatov@bk.ru,

¹**TOLEUOVA Ainagul**, PhD, Acting Associate Professor, rymkul.ainagul@mail.ru,

¹**NABOKO Elena**, Cand. Tech. Sci., Associate Professor, lana_nep@mail.ru,

¹Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev ave., 56,

*corresponding author.

Abstract. *Purpose studying the effect of microadditives on the structural phase state of Al-Ti based alloys. Research methods – modeling of state diagrams, smelting and study of experimental samples. The effect of microadditives on the structural state and phase composition is considered. Diagrams of alloys based on aluminum and titanium are given. X-ray diffraction analysis shows that the addition of trace elements such as niobium and molybdenum changes the structural state of titanium and aluminum-based alloys. The effect of the elements can be seen from the diffraction spectra. The element distribution map also examines the effect of low density on the thermal properties of microadditives. It is believed that studying phase diagrams can significantly reduce the cost of experimental studies. The use of titanium aluminides will reduce the weight of the product by up to 40%, the costs and labor costs by 30%, and will also significantly increase reliability of parts and structural assemblies.*

Keywords: *phase state, alloy, microadditives, heat resistance, aluminum.*

REFERENCES

1. Kunal Kothari, Ramachandran Radhakrishnan, Norman M. Wereley. Advances in Gamma Titanium Aluminides and Their Manufacturing Techniques // Progress in Aerospace Sciences. 2012. Vol. 55. P. 1-16.
2. Pavlova T.V. Kashapov O.S., Nochovnaya N.A. Titanovye splavy dlya gazoturbinnnykh dvigatelei // Vse materialy. Entsiklopedicheskii spravochnik. 2012. № 2. S. 8-14.
3. Sostoyanie, problemy i perspektivy sozdaniya zharoprochnykh titanovykh splavov dlya detalei GTD / O.S. Kashapov [i dr.] // Trudy VIAM. 2013. №3. St. 02.
4. Smagulov, D.U., Belov, N.A., Dostayeva, A.M. Roasting effect on the electrical resistivity of the Al-0,5% Zr alloys, Bulletin of the university of Karaganda-Physics, 80 (2015), 4, 19-23.
5. Kulikov V.Yu., Aubakirov D.R., Kvon S.S., Dostaeva A.M., Shcherbakova E.P. Primenenie iznosostoikikh materialov v metallurgicheskoi otrasli Respubliki Kazakhstan // Metallurg. 2018. № 10. S. 80-83.
6. Isagulov A.Z., Kvon Sv.S., Kulikov V.Yu. Povyshenie iznosostoikosti elementov gorno-obogatitel'nogo oborudovaniya // Chernaya metallurgiya. Byulleten nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii. 2020. T. 76. № 6. S. 609-613.
7. Vodolazskaya N.V. Wear resistance of cast iron parts due to modification of surface layer / N.V. Vodolazskaya, O.A. Sharaya // Journal of Advanced Research in Technical Science. – Seattle, USA: SRC MS, AmazonKDP. – 2020. – Issue 18. – R. 33-36.